

(様式 5)

指導教員 承認印	主	副	副
	㊟	㊟	㊟

学 位 （ 博 士 ） 論 文 要 旨

論文提出者	生物システム応用科学府 生物システム応用科学専攻 博士後期課程 生体機構情報システム学 専修 平成 26 年度入学 氏名 渡辺史 ㊟				
主指導教員 氏 名	秋澤淳	副指導教員 氏 名	上田祐樹	副指導教員 氏 名	
論文題目	低温排熱利用の高度化に向けた熱駆動冷凍サイクルの研究				
<p>論文要旨（和文要旨(2000 字程度)または英文要旨(500words)）</p> <p>第 1 章では、現在のエネルギー事情を説明し、熱駆動冷凍サイクルの有効性と課題を示した。エネルギーリスクや熱の有効利用として、ごみ処理場や製油所で得られる 100-200° C の排熱を利用し、地域全体の冷水供給のベースを行う地域熱供給と、家庭用燃料電池や太陽熱で得られる 100° C 以下の温度域を利用し、地域ごとの冷水供給のピークカットまたは災害時の冷水供給を行う分散型熱供給の融合が、効果的である。熱源温度が低温度における効率の改善として、多重効用吸着冷凍サイクルの静的解析を行い、多重効用化がサイクルに及ぼす影響を明らかにし、設計方針を提案する。長距離冷水輸送の高効率化として、高密度冷熱輸送システムの溶液輸送型吸収冷凍サイクル（Solution Transportation Absorption chiller: STA）の実証実験およびシミュレーションより、溶液輸送が冷凍サイクルに及ぼす影響を明らかにし、設計方針を提案する。</p> <p>第 2 章では、代表的な熱駆動冷凍サイクルとして、吸収冷凍サイクルおよび吸着冷凍サイクルの原理と特徴を示した。</p> <p>第 3 章では、二重効用サイクルにおける低温側-高温側サイクルの吸着剤の選定や、圧縮機組み込み二重効用サイクルの圧縮機の設置位置や吸着剤の選定により、100° C 以下の熱駆動吸着冷凍サイクルの高効率化を目指し、吸着冷凍サイクルの平衡状態に基づいた静的解析を行った。二重効用サイクルは高温側の吸着熱を回収し低温側の熱源として再利用するサイクルであり、熱入力あたりの冷凍出力 COP を向上する。二重効用サイクルの吸着剤ごとにおける静的解析より、吸着剤 FAM Z05-Z02 と FAM Z01-Z02 の COP は、従来の単行用サイクルの約 2 倍の 1.3 となり、ほぼ同じ値を示す。単位吸着剤あたりの冷凍出力である SCE は、FAM Z05-Z02 の SCE が約 1.3 倍程度となり他の吸着剤よりも高い数値を有しているため性能の高い吸着剤となる。冷水温度 10° C 以下または冷却水温度 35° C 以上で使用する場合は、FAM Z05-Z02 の性能は急激に低下するため、FAM Z01- Z02 の使用が有効である。</p> <p>圧縮機組み込み二重効用サイクルは、吸着器内の圧力の調整により、外部温度の影響によらず、吸着剤の吸着量変化が密な部分でサイクルを稼働できる。従来の二重効用では、性能が低下または稼働しなかった温度域においても、性能</p>					

をほとんど落とすことなく稼働する。圧縮機の圧力比によって COP には最大値が存在し、出力を大きく取るためには適切な圧力比を設定することが求められる。圧縮機の設置位置は低圧側に、吸着剤は FAM Z05-Z02 とした場合が COP や SCE の効率が高い値を示している。圧縮機なしの二重効用サイクルと比較して、熱源温度は 20° C 低い 60° C (冷却水 30° C 冷水 10° C の時)、冷却水温度は 10° C 高い 40° C (熱源 80° C 冷水 10° C の時)、冷水温度は 4° C 低い 1° C (熱源 80° C 冷却水 30° C の時)においても COP を 1 以上で稼働することが確認できた。

第 4 章では、圧縮機をサイクルに組み込むことにより、三重効用吸着冷凍サイクルを目指し、吸着冷凍サイクルの平衡状態に基づいた静的解析を行った。三重効用サイクルは低温-中温-高温サイクルに分かれ、従来の方法では各サイクルの温度幅が小さく、吸着量変化がないため稼働しないが、圧縮機を組み込み吸着圧力を調整することで、サイクルを稼働することができる。各吸着器に対して吸着圧力を同じにした場合は、COP が 1.5 となるが、各吸着器に対して吸着圧力をそれぞれ適切に設定した場合は、COP が 1.8 得られ共通の場合より 1.2 倍得られる。SCE は二重効用サイクルとほぼ同じ値を示す。冷却水 30° C 冷水 10° C の時、熱源温度 70° C 以上で稼働する。三重効用サイクルは、先に提案した二重効用サイクルよりも 1.5 倍程高い COP を有しており、現在運用化されている単効用吸着サイクルよりも 3 倍程高い。電力量の消費は発生するが、冷凍出力の 5%程度であり主要な動力源は外部からの熱の投入になっており、蒸気圧縮冷凍サイクルに比べて十分に低い電力量といえる。

第 5 章では、輸送配管 200 m、冷凍出力 90 kW のアンモニア-水を作動媒体とし、大型冷凍プラントの制御系を有する STA 実証機において実証実験を行った。STA は熱エネルギーを化学ポテンシャルに変換して熱輸送を行うため、配管の断熱を不要とし熱輸送密度が高い。静的実験より、圧力損失を 1000 m 輸送と同条件にした場合、通常の吸収冷凍サイクルと同様の内部状態や性能を示し、圧力損失の影響は受けない。動の実験より、通常の吸収冷凍サイクルと 200m STA を比較した時、部分負荷の変動と起動時の場合は、冷凍出力と内部状態が一定値まで安定するまでの時間が、ほぼ同じであることが示された。制御パラメータである PI 値を変更した時の部分負荷変動実験において、STA は通常の吸収冷凍サイクルと同じ制御の追従性を示した。STA は従来吸収冷凍サイクルで使用している制御系パラメータを使用することが出来、特別な操作を必要とせず輸送配管の設置のみで従来の吸収冷凍サイクルと同等の性能が得られる。

第 6 章では、STA 実験機では実証できない大規模化の条件において、シミュレーションを用いて性能解析を行った。シミュレーションソフト Aspen HYSYS を用いることにより、実験機とほぼ同じ挙動を示すモデルを作成した。冷凍出力 3517 kW、輸送距離 10000 m の大規模 STA シミュレーションより、実験機と同様に冷凍出力の動的挙動は輸送距離によらずほぼ同じ挙動の追従性を示した。よって、従来の制御機構を STA においても使用可能である。一方で、輸送距離に応じて、負荷変動による冷媒受液器の冷媒量の変動は大きくなり、溶液輸送配管内容積に応じて冷媒受益器の容量を変更する必要がある。熱輸送密度の向上を目指し、圧縮機組み込み STA の検証を行った。圧縮機を低圧側設置方式の方が高圧側設置よりも、輸送配管径の各項目について優位性が示され、熱輸送密度が従来の STA の 2 倍程度に向上し、配管径は 15%小型化可能となる。

第 7 章では、本研究の得られた結果のまとめを示した。本研究の技術を地域熱供給と分散型熱供給に組み込むことにより、STA の利用により常温でポンプ出力が少なく熱を輸送することができ、多重効用サイクルの利用により低温熱利用で高い COP を有する。